

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
30 octobre 2003 (30.10.2003)

PCT

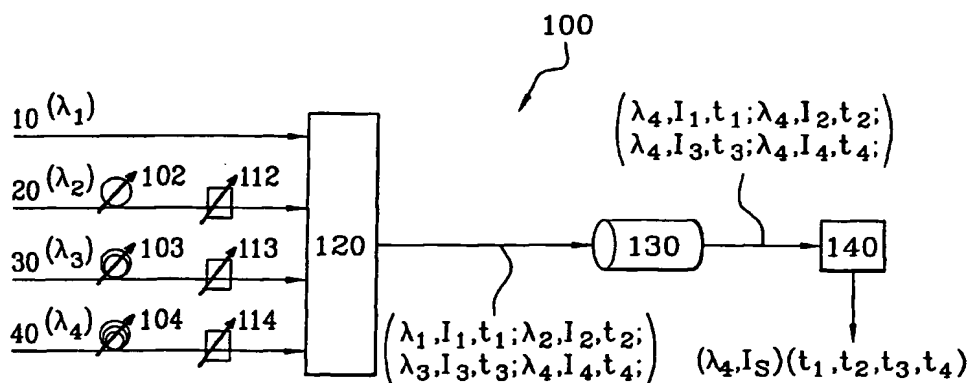
(10) Numéro de publication internationale  
WO 03/090392 A1

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : H04J 14/02 (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : FRANCE TELECOM [FR/FR]; 6, place d'Alleray, F-75015 Paris (FR).
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR03/00810 (72) Inventeur; et (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : PINCEMIN, Erwan [FR/FR]; Kernevez, F-22290 Gommenec'h (FR).
- (22) Date de dépôt international : 13 mars 2003 (13.03.2003)
- (25) Langue de dépôt : français (74) Mandataire : PASSARET, Aude; France Télécom T & I/PIV/PI, 38-40, rue du Général Leclerc, F-92794 Issy Moulineaux Cedex 9 (FR).
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 02/04968 19 avril 2002 (19.04.2002) FR (81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: OPTICAL DEVICE AND METHOD OF CONVERTING WDM SIGNALS INTO AN OTDM SIGNAL AND VICE VERSA

(54) Titre : DISPOSITIF OPTIQUE ET PROCÉDÉ POUR CONVERTIR DES SIGNAUX WDM EN UN SIGNAL OTDM, ET RÉCIPROQUEMENT



(57) Abstract: The invention relates to a device and a method for converting WDM signals into an OTDM signal. The inventive device comprises offset means (102, 103, 104) which can introduce a time delay between the pulses supported by the optical WDM signal carriers, modulation means (112, 113, 114) which can modify the optical power of the WDM signals, an optical time multiplexer/demultiplexer (120), a birefringent propagation medium (130) in which the WDM signals are injected for the purpose of soliton trapping and absorption means (140) which can introduce optical losses at the components of the OTDM signal. Said device can be used to perform very high flow WDM/OTDM conversions. The invention can also be used to perform reverse OTDM/WDM conversions. The device is intended to be installed in long-distance telecommunication networks.

(57) Abrégé : L'invention se rapporte à un dispositif, et un procédé, pour convertir des signaux WDM en un signal OTDM. Le dispositif comprend des moyens (102, 103, 104) de décalage, aptes à introduire un écart temporel entre les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM, des moyens (112, 113, 114) de modulation, aptes à modifier la puissance optique des signaux WDM, un multiplexeur/démultiplexeur (120) temporel optique, un milieu (130) de propagation biréfringent dans lequel les signaux WDM sont injectés

[Suite sur la page suivante]

BEST AVAILABLE COPY

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique, des moyens (140) d'absorption, aptes à introduire des pertes optiques sur les composantes du signal OTDM. Ce dispositif permet de faire des conversions WDM/OTDM à très haut débit. Il permet aussi de faire des conversions inverses OTDM/WDM. Il est destiné à être implanté dans des réseaux de télécommunication longues distances.

DISPOSITIF OPTIQUE ET PROCEDE POUR CONVERTIR DES SIGNAUX WDM EN UN SIGNAL  
OTDM, ET RECIPROQUEMENT

La présente invention concerne un dispositif optique, et un procédé, pour convertir des signaux WDM, comportant des impulsions simultanées portées par des longueurs d'onde distinctes, en un signal OTDM, dont les composantes  
5 sont portées par une seule longueur d'onde et décalées temporellement, et réciproquement.

L'invention se situe dans le domaine des télécommunications optiques et plus particulièrement des télécommunications sur des longues distances. Dans le  
10 contexte actuel de la montée en débit des réseaux de transmission longues distances, l'augmentation du débit dans les canaux de transmission est inévitable car elle permet une réduction de l'encombrement des équipements d'extrémités et surtout une diminution de leur coût.

15 Ainsi, d'ici quelques années, les réseaux de transport des opérateurs de télécommunication devraient voir le déploiement des premiers équipements WDM ("Wavelength Division Multiplexing" en littérature anglo-saxonne) fonctionnant à 40 Gbit/s par longueur d'onde et, à plus  
20 long terme, à 160 Gbits/s par longueur d'onde. Dans ces conditions, les besoins des réseaux de transport en fonctionnalités de multiplexage / démultiplexage temporel optique OTDM ("Optical Time Division Multiplexing" en littérature anglo-saxonne) vont également se développer.

25 Dans ce contexte, il est particulièrement intéressant de mettre en œuvre une fonction de conversion d'une part WDM/OTDM toute optique, afin de transférer vers une porteuse unique l'information contenue par plusieurs longueurs d'onde, et d'autre part OTDM/WDM toute optique,  
30 afin de transférer vers plusieurs porteuses optiques l'information contenue dans un canal optique fonctionnant

à très haut débit, typiquement à 40 Gbit/s, 160Gbit/s, voire même 640 Gbit/s. Dans se dernier cas, le nombre de porteuses optiques sollicitées pour la conversion est égal au nombre de composantes OTDM présentes dans le signal  
5 optique à convertir. Ces composantes OTDM peuvent avoir un débit de 40 ou 10 Gbit/s.

Actuellement, des solutions capables de réaliser de telles conversions WDM/OTDM et OTDM/WDM existent déjà. Ainsi, il existe des solutions toutes électroniques qui  
10 impliquent l'utilisation de transpondeurs opto-électroniques équipés de photorécepteur ou de diodes lasers pour faire une conversion optique/électronique et réciproquement. Toute une chaîne de composants électroniques permet ensuite de faire du  
15 multiplexage/démultiplexage temporel. Ces solutions sont cependant complexes à mettre en œuvre, car elles requièrent des doubles conversions optique/électronique et/ou électronique/optique et utilisent un nombre important de composants, ce qui rend difficile leur  
20 implantation dans le réseau pour d'évidents problèmes d'encombrement. Elles sont par ailleurs limitées en largeur de bande électrique. L'inconvénient majeur de ces solutions réside dans le fait qu'elles sont limitées en débit puisque les systèmes électroniques utilisés sont  
25 incapables de fonctionner à des débits supérieurs ou égaux à 40 Gbits/s.

D'autres solutions toutes optiques existent également. Ainsi, la conversion OTDM/WDM consiste à faire du démultiplexage temporel optique puis de la conversion  
30 de longueur d'onde. Le démultiplexage temporel optique est réalisé par exemple en utilisant la modulation de phase croisée dans une fibre. Cette technologie est cependant très complexe à mettre en œuvre. Le démultiplexage temporel optique peut également être réalisé au moyen de  
35 miroirs optiques non linéaires utilisant des

interféromètres de type Mach-Zehnder, Michelson ou Sagnac. Les miroirs optiques non linéaires présentent cependant l'inconvénient d'être instables, leur stabilité dépendant en effet de la température. La conversion en longueur d'onde, quant à elle, est réalisée au moyen d'amplificateurs optiques à semi-conducteur SOA, ("Semiconductor Optical Amplifier" en terminologie anglo-saxonne). Un laser, placé derrière le SOA permet de fournir la longueur d'onde dans laquelle le signal doit être converti. Cependant, cette solution implique l'utilisation d'autant de SOA et de lasers qu'il y a de conversions en longueur d'onde à effectuer, si bien que le prix de revient de cette solution reste très élevé et ne permet pas une implantation à grande échelle, dans des réseaux actuellement en plein essor. De plus, les SOA ne sont pas complètement transparents au débit et des distorsions peuvent apparaître et affecter le signal.

La conversion WDM/OTDM, quant à elle, consiste à convertir la longueur de chaque signal WDM en une longueur d'onde unique puis à faire du multiplexage temporel optique. La conversion de longueurs d'onde nécessite là encore l'utilisation d'autant de SOA et de lasers qu'il y a de signaux WDM, si bien que le prix de revient de cette solution est très élevé.

Enfin, même si les solutions qui viennent d'être présentées pour les deux types de conversion OTDM/WDM et WDM/OTDM présentent l'avantage d'être toutes optiques, ce qui simplifie la chaîne de traitement sur les signaux, elles ne peuvent fonctionner que pour de faibles débits, inférieurs à 40Gbits/s.

Du fait de leurs limitations, les solutions existantes ne peuvent donc pas être utilisées pour la conversion de signaux WDM/OTDM ou OTDM/WDM à très haut débit, c'est à dire à des débits supérieurs à 40 Gbit/s.

Aussi, le problème technique à résoudre par la présente invention est de proposer un dispositif optique pour convertir des signaux WDM, dont les impulsions sont simultanées et portées par des longueurs d'onde distinctes, en un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde et décalées temporellement, qui permettrait de fonctionner à des très hauts débits pour pouvoir être implanté dans des réseaux de transmission optique longues distances fonctionnant à des débits très élevés, typiquement supérieurs ou égaux à 40 Gbit/s.

La solution au problème technique posé est obtenue, selon la présente invention, du fait que ledit dispositif comprend :

- des moyens de décalage, aptes à introduire un écart temporel entre les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM,
- des moyens de modulation, aptes à modifier la puissance optique des signaux WDM,
- un multiplexeur/démultiplexeur spectral et temporel optique,
- un milieu de propagation biréfringent dans lequel les signaux WDM sont injectés de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique,
- des moyens d'absorption, aptes à introduire des pertes optiques sur les composantes du signal OTDM.

Ainsi, le dispositif selon l'invention utilise le phénomène bien connu de piégeage solitonique (ou "soliton trapping" en littérature anglo-saxonne) dans un milieu de propagation biréfringent, qui permet de créer un décalage de la fréquence optique de la porteuse, proportionnel à la puissance optique d'un signal. En ajustant préalablement la puissance optique des impulsions d'un signal, le piégeage solitonique permet de décaler la longueur d'onde de ces impulsions vers une longueur d'onde dite "cible" de

la porteuse optique devant finalement porter l'information.

La solution au problème technique posé est également obtenue, selon la présente invention, grâce à un procédé de conversion de signaux WDM, dont les impulsions sont simultanées et portées par des longueurs d'onde distinctes, en un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde et décalées temporellement, au moyen dudit dispositif. Ce procédé est remarquable en ce qu'il comporte les étapes consistant à :

- décaler temporellement les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM,
- atténuer les signaux WDM, afin qu'ils présentent des puissances optiques différentes,
- multiplexer spectralement et temporellement les signaux WDM,
- injecter le multiplex WDM obtenu dans le milieu de propagation biréfringent de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique et obtenir un signal OTDM,
- égaliser la puissance optique des composantes du signal OTDM obtenu.

Un autre problème technique à résoudre par la présente invention est de proposer un dispositif optique apte à faire la conversion inverse, c'est à dire apte à convertir un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde ( $\lambda_4$ ) et décalées temporellement ( $t_1, t_2, t_3, t_4$ ), en signaux WDM, dont les impulsions sont portées par des longueurs d'onde ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ ) distinctes qui permettrait de fonctionner à des très haut débits pour pouvoir être implantés dans des réseaux de transmission optiques longues distances.

La solution à ce problème est obtenue, selon la présente invention, du fait que ledit dispositif comprend :

- des moyens d'absorption, aptes à introduire des pertes optiques sur les composantes du signal OTDM,

- un milieu de propagation biréfringent dans lequel le signal OTDM est injecté de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique,
- un multiplexeur/démultiplexeur spectral et temporel optique,
- des moyens de modulation, aptes à modifier la puissance optique des signaux WDM.

La solution à ce problème technique est également obtenue, selon la présente invention, grâce à un procédé de conversion d'un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde et décalées temporellement les unes par rapport aux autres, en signaux WDM, dont les impulsions sont et portées par des longueurs d'onde distinctes, au moyen dudit dispositif. Ce procédé est remarquable en ce qu'il comporte les étapes consistant à :

- atténuer les composantes du signal OTDM de manière à ce qu'elles présentent des puissances optiques différentes,
- injecter le signal OTDM dans le milieu de propagation biréfringent, de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique et récupérer un multiplex WDM,
- démultiplexer spectralement et temporellement le multiplex WDM de manière à obtenir plusieurs signaux WDM dont les impulsions, portées par des longueurs d'onde distinctes, sont décalées temporellement,
- égaliser la puissance optique des impulsions des signaux WDM obtenus.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description faite à titre d'exemple illustratif et non limitatif, en regard des figures annexées qui représentent :

- la figure 1, un dispositif selon l'invention, utilisé comme convertisseur WDM/OTDM,



- la figure 2, les signaux WDM se propageant en entrée du dispositif de la figure 1 et en sortie du multiplexeur spectral et temporel,

5       - la figure 3, les signaux se propageant en entrée et en sortie du milieu de propagation biréfringent du dispositif de la figure 1,

10       - la figure 4, des moyens d'absorption utilisés dans le dispositif de la figure 1 et les signaux de propageant en entrée et en sortie de ces moyens d'absorption,

15       - la figure 5, d'autres moyens d'absorption utilisés, selon une variante de réalisation, dans le dispositif de la figure 1, et les signaux se propageant en entrée et en sortie de ces moyens d'absorption,

20       - la figure 6, un dispositif selon l'invention, utilisé comme convertisseur OTDM/WDM, et un schéma des signaux se propageant à chaque étape de la conversion.

25       Dans la suite de la description, il est question d'une conversion de quatre signaux WDM, portés par quatre canaux fonctionnant par exemple à 40 Gbit/s, dont les longueurs d'onde sont distinctes, en un signal OTDM, porté par un seul canal sur une seule porteuse optique, fonctionnant à 160Gbit/s, et réciproquement.

      L'invention peut bien sûr s'appliquer aux signaux ayant un débit quelconque. Préférentiellement, elle s'applique aux signaux ayant des débits binaires de 40, 160 voire même 640 Gbit/s.

30       Le dispositif de conversion WDM/OTDM et OTDM/WDM est mis en œuvre pour des signaux comprenant des données de type "RZ", selon la terminologie couramment utilisée pour dire "return to zero" ou "remise à zéro". Ces données du type RZ peuvent être du type solitonique ou non. On rappelle qu'un signal RZ est un signal numérique

35

comportant deux états 0 et 1, les bits à 1 correspondant à des impulsions et les bits à 0 correspondant à l'absence d'impulsion dans le temps bit.

5 Sur la figure 1, le dispositif référencé 100 est utilisé comme convertisseur WDM/OTDM. Il est destiné à convertir, dans cet exemple, les quatre signaux WDM, portés par quatre canaux 10, 20, 30, 40 fonctionnant par exemple à 40 Gbit/s et dont les longueurs d'onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$  sont distinctes, en un signal OTDM, porté par un  
10 seul canal, sur une seule porteuse optique  $\lambda_4$ , et fonctionnant à 160Gbit/s.

En sortie des quatre canaux WDM, sont disposés des moyens de décalage 102, 103, 104, et des moyens de modulation 112, 113, 114. Les moyens de décalage,  
15 constitués par exemple par des lignes à retard, permettent d'introduire un écart temporel entre les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM. Ce décalage de phase entre les impulsions est nécessaire pour pouvoir ensuite multiplexer temporellement les signaux.

20 Dans cet exemple, seuls 3 canaux 20, 30, 40 sont munis de ces lignes à retard puisqu'il suffit que chaque porteuse ait un décalage différent par rapport aux autres. Il n'est donc pas nécessaire d'introduire un retard sur le premier canal 10, mais bien sûr rien ne s'y oppose non  
25 plus.

Ces lignes à retard 102, 103, 104 peuvent être fixes et conçues pour décaler chaque porteuse optique d'une période de temps fixée pour chaque signal. Il est cependant préférable d'utiliser des lignes à retard  
30 variable, afin de pouvoir régler les décalages et les affiner.

Les moyens de modulation optique 112, 113, 114 permettent, quant à eux, de moduler la puissance optique des signaux WDM. Les moyens de modulation sont par exemple  
35 constitués par des atténuateurs variables. Ainsi, on

introduit par exemple des pertes optiques différentes sur chacun des signaux WDM pour les atténuer. On obtient alors des signaux WDM portés par des longueurs d'onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$  distinctes avec des puissances  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  optiques différentes. Ces puissances optiques sont ajustées de manière à permettre l'effet ultérieur recherché de piégeage solitonique.

Dans cet exemple, seuls 3 canaux 20, 30, 40 sont munis de ces atténuateurs, mais pour les mêmes raisons qu'avec les lignes à retard, chaque canal peut être muni d'un atténuateur. De préférence on utilise des atténuateurs optiques variables pour pouvoir régler la puissance de chaque signal WDM.

Dans cet exemple, les lignes à retard 102, 103, 104 sont disposées devant les atténuateurs 112, 113, 114 optiques, mais l'ordre n'a en réalité aucune importance à ce stade. Il suffit en effet qu'en entrée du multiplexeur/démultiplexeur 120 optique les signaux WDM aient été décalés et modulés.

Le multiplexeur/démultiplexeur 120 spectral et temporel optique permet ensuite de multiplexer les signaux WDM pour n'avoir plus qu'un multiplex WDM comprenant des impulsions de longueurs d'onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$  différentes, de puissances  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  différentes et décalées ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ ) temporellement.

Le multiplex ainsi obtenu est ensuite injecté dans un milieu 130 de propagation biréfringent, tel qu'une fibre optique biréfringente par exemple, de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique et obtenir un signal multiplexé temporellement et porté par une seule longueur d'onde,  $\lambda_4$  dans l'exemple, constituant un signal OTDM.

Des moyens d'absorption 140 permettent ensuite d'égaliser la puissance optique des différentes composantes constituant le signal OTDM final.

Les figures 2 à 5, plus détaillées, permettent de mieux comprendre le fonctionnement de ce dispositif, au cours de la conversion WDM/OTDM.

5 Sur la figure 2, sont représentés les chronogrammes de chaque signal WDM en entrée du dispositif, et le chronogramme du multiplex WDM en sortie du multiplexeur/démultiplexeur 120 spectral et temporel optique. En entrée du dispositif, chaque signal WDM comporte des impulsions qui sont portées par une longueur  
10 d'onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$  distinctes. Ces impulsions des différents signaux WDM présentent toutes la même intensité  $I_1$  et interviennent simultanément.

En sortie du multiplexeur 120, le multiplex présente des impulsions de longueurs d'onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$   
15 distinctes, d'intensités  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  différentes et décalées temporellement  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ .

Les impulsions du signal OTDM que l'on souhaite obtenir en sortie du dispositif doivent être entrelacées. L'écart entre deux impulsions doit donc être identique à  
20 chaque fois. Ainsi, à 160 Gbit/s par exemple, les impulsions sont décalées les unes par rapport aux autres d'un écart de 6,25ps. Le décalage entre les impulsions est donc préalablement réglé et ajusté au moyen des lignes à retard variables 102, 103, 104.

25 La puissance optique  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  de chaque impulsion du multiplex WDM est préalablement réglée, au moyen des atténuateurs variables 112, 113, 114 pour exacerber les effets non linéaires dans la fibre optique biréfringente 130 et favoriser ainsi l'effet de piégeage  
30 solitonique souhaité et tel qu'illustré sur la figure 3.

On rappelle qu'un milieu de propagation biréfringent comporte deux axes principaux de propagation. Pour favoriser le phénomène de piégeage solitonique, le multiplex est injecté selon une polarisation à 45° par  
35 rapport aux axes principaux de propagation du milieu

biréfringent 130. Dans ce cas, un contrôleur de polarisation peut par exemple être placé devant la fibre optique 130. Ce contrôleur permet de transformer n'importe quelle polarisation entrant en une autre polarisation et en particulier une polarisation linéaire à  $45^\circ$  des axes principaux de la fibre biréfringente.

On rappelle qu'un soliton est une impulsion lumineuse suffisamment intense pour exciter un effet non linéaire qui va compenser les effets de la dispersion chromatique lors de trajets sur de longues distances. Dans certaines conditions, notamment de puissance et de dispersion chromatique, bien connues de l'homme du métier, les impulsions 1 à 4 injectées conservent leur intégrité et ne se déforment pas temporellement. En revanche, leur spectre fréquentiel est déformé et il se produit un décalage fréquentiel par rapport à la fréquence initiale du spectre de chacune de ces impulsions à l'entrée du milieu de propagation. Ce phénomène, au cours duquel l'impulsion ne se déforme pas temporellement mais où le spectre se décale fréquemment, est connu sous le nom de piégeage solitonique. Le décalage fréquentiel  $\Delta\nu_i$ , est proportionnel à la puissance lumineuse  $I_i$  de l'impulsion  $i$  injectée dans le milieu de propagation.

Ainsi, en réglant précisément la puissance lumineuse  $I_i$  de chaque impulsion  $i$  du multiplex WDM, le décalage fréquentiel  $\Delta\nu_i$  induit par le phénomène de piégeage solitonique sur l'impulsion  $i$  du multiplex WDM peut être ajusté pour permettre une correspondance spectrale parfaite des déplacements de spectre des canaux WDM. Cet ajustement précis est obtenu grâce aux lignes à retard variable et aux atténuateurs variables placés devant le multiplexeur 120. Dans l'exemple de la figure 3, les impulsions 1, 2, 3 d'intensité respective  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ , subissent chacune un décalage  $\Delta\nu_1$ ,  $\Delta\nu_2$ ,  $\Delta\nu_3$  pour que leurs

longueurs d'onde coïncident toutes avec la longueur d'onde  $\lambda_4$  de la quatrième impulsion.

En sortie du milieu biréfringent, on obtient donc un signal OTDM dont les composantes sont portées par une  
5 seule longueur d'onde  $\lambda_4$  et sont décalées temporellement ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ ).

Cependant, les composantes du signal OTDM obtenu ne présentent pas la même puissance lumineuse  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$ . Des moyens d'absorption 140 sont donc prévus pour rétablir  
10 un niveau de puissance optique identique entre toutes les composantes du signal OTDM.

Cette égalisation de puissance est par exemple basée sur l'utilisation d'un modulateur à électro-absorption MEA qui applique des pertes optiques sélectives sur les  
15 composantes du canal OTDM, tel qu'illustré sur la figure 4. Le profil temporel des pertes  $P_{os}$  peut être en marches d'escalier 142, ou une rampe linéaire 143 comme illustré sur les courbes de la tension appliquée  $V$  et des pertes optiques en sortie  $P_{os}$  en fonction du temps  $t$ . La courbe  
20 relative à la tension  $V$  appliquée est en traits pleins alors que la courbe relative aux pertes optiques en sortie  $P_{os}$  est en traits discontinus.

Ainsi, l'absorption du MEA étant fonction de la tension  $V$  appliquée et du temps, et les composantes du  
25 signal injecté présentant chacune une intensité différente et étant elles-mêmes décalées les unes par rapport aux autres dans le temps, chacune d'entre-elles ne voit pas la même absorption en passant dans le MEA. A la sortie du MEA, les différentes composantes 1, 2, 3, 4 ont alors une  
30 puissance optique identique  $I_s$ .

Une variante de réalisation, pour effectuer cette égalisation de puissance, consiste à utiliser un absorbant saturable tel qu'illustré sur la figure 5. La fonction de  
35 transfert d'un absorbant saturable présente deux états distincts : un état de blocage lorsque la puissance

d'entrée  $I_e$  est inférieure à une puissance seuil  $I_t$ , et un état totalement transparent, lorsque la puissance d'entrée est supérieure à cette puissance seuil. A l'état transparent, le signal en sortie de l'absorbant saturable présente une puissance de sortie  $I_s$  constante. Si les différentes composantes du signal OTDM obtenu ont toutes une puissance  $I_1, I_2, I_3, I_4$  supérieure à la puissance seuil  $I_t$ , elles présentent toutes, en sortie de l'absorbant, une puissance de sortie  $I_s$  identique. Si, par contre, les composantes du signal OTDM ont une puissance inférieure à la puissance seuil, alors elles sont totalement absorbées.

Le dispositif 100 peut être également utilisé pour réaliser la conversion inverse, c'est à dire la conversion d'un signal OTDM en signaux WDM. Cette conversion inverse utilise le même dispositif en sens inverse. Elle est donc décrite plus succinctement, en regard de la figure 6 qui représente le dispositif utilisé comme convertisseur OTDM/WDM et les signaux se propageant à chaque étape de la conversion.

Dans un premier temps, le signal OTDM traverse des moyens d'absorption 140 afin que des pertes optiques sélectives soient appliquées sur ses composantes. Ces moyens d'absorption sont par exemple constitués par le modulateur électro-absorbant MEA tel que décrit précédemment. Les composantes du signal OTDM ne voient pas la même absorption et subissent donc des pertes optiques différentes.

Le signal OTDM obtenu est ensuite injecté dans la fibre optique 130 biréfringente de manière à assurer l'effet de piégeage solitonique précédemment décrit. Dans ce cas, les composantes du spectre OTDM subissent un décalage fréquentiel  $\Delta \nu$  proportionnel à leur puissance optique. On obtient donc un multiplex WDM dont les impulsions 1, 2, 3, 4 sont portées par des longueurs

d'onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$  distinctes, présentent des puissances optiques  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  différentes et sont décalées temporellement les unes par rapport aux autres.

5 Tout comme pour la conversion WDM/OTDM, un contrôleur de polarisation peut par exemple être placé devant la fibre optique 130 pour faciliter l'injection du signal selon une polarisation à 45° des axes principaux de la fibre optique.

10 L'étape suivante consiste alors à faire passer le multiplex WDM dans le multiplexeur/démultiplexeur 120, afin de le démultiplexer spectralement et temporellement et obtenir quatre signaux portés par des longueurs d'onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$  différentes.

15 La dernière étape consiste enfin à modifier la puissance optique des impulsions des signaux WDM, afin de les égaliser. Cette modification se fait grâce aux moyens de modulation 112, 113, 114, qui sont par exemple constitués par les atténuateurs variables tels que précédemment décrits.

20 Pour la conversion OTDM/WDM, il n'est pas indispensable d'utiliser les moyens de décalage 102 à 104 de la figure 1. Lorsque ces moyens sont utilisés, des lignes à retard par exemple, ils permettent de décaler temporellement les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM, de manière à les rendre  
25 simultanées.

Le dispositif qui vient d'être décrit n'est qu'une illustration et n'est en aucun cas limité à cet exemple. Il trouve son application dans les télécommunications optiques longues distances à haut-débit.  
30

Il présente l'avantage d'être tout optique, il est facile à réaliser et à implanter dans le réseau. Il n'utilise pas de source laser mais que des composants peu coûteux. Il est indépendant de la largeur de bande. Enfin,  
35 ce dispositif présente un très gros intérêt pour les



génération de systèmes de transmission à haut-débit,  
fonctionnant à des débits supérieurs ou égaux à 40 Gbit/s.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif (100) optique pour convertir des signaux WDM, dont les impulsions sont simultanées et portées par des longueurs d'onde ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ ) distinctes, en un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde ( $\lambda_4$ ) et décalées temporellement ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ ), caractérisé en ce qu'il comprend :
- des moyens (102, 103, 104) de décalage, aptes à introduire un écart temporel entre les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM,
  - des moyens (112, 113, 114) de modulation, aptes à modifier la puissance optique des signaux WDM,
  - un multiplexeur/démultiplexeur (120) spectral et temporel optique,
  - un milieu (130) de propagation biréfringent dans lequel les signaux WDM sont injectés de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique,
  - des moyens (140) d'absorption, aptes à introduire des pertes optiques sur les composantes du signal OTDM.
2. Dispositif optique pour convertir un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde ( $\lambda_4$ ) et décalées temporellement ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ ), en signaux WDM, dont les impulsions sont portées par des longueurs d'onde ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ ) distinctes, caractérisé en ce qu'il comprend :

- des moyens (140) d'absorption, aptes à introduire des pertes optiques sur les composantes du signal OTDM,
  - un milieu (130) de propagation biréfringent dans lequel le signal OTDM est injecté de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique,
  - un multiplexeur/démultiplexeur (120) spectral et temporel optique,
  - des moyens (112, 113, 114) de modulation, aptes à modifier la puissance optique des signaux WDM.
3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (102, 103, 104) de décalage, aptes à introduire un écart temporel entre les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM.
4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens (102, 103, 104) de décalage sont constitués par des lignes à retard variable.
5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens (112, 113, 114) de modulation sont constitués par des atténuateurs variables.
6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un contrôleur de polarisation en entrée du milieu (130) de propagation biréfringent pour

favoriser l'injection des signaux (WDM/OTDM) dans ledit milieu de propagation avec une polarisation à 45° de ses axes principaux.

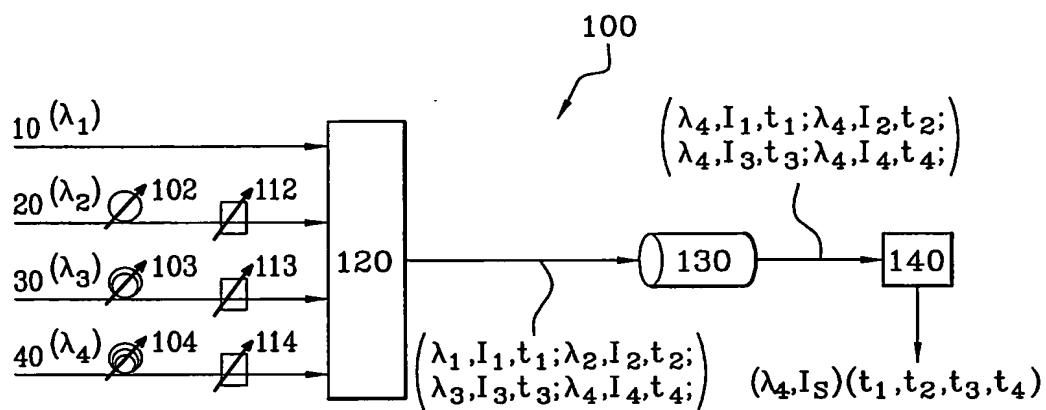
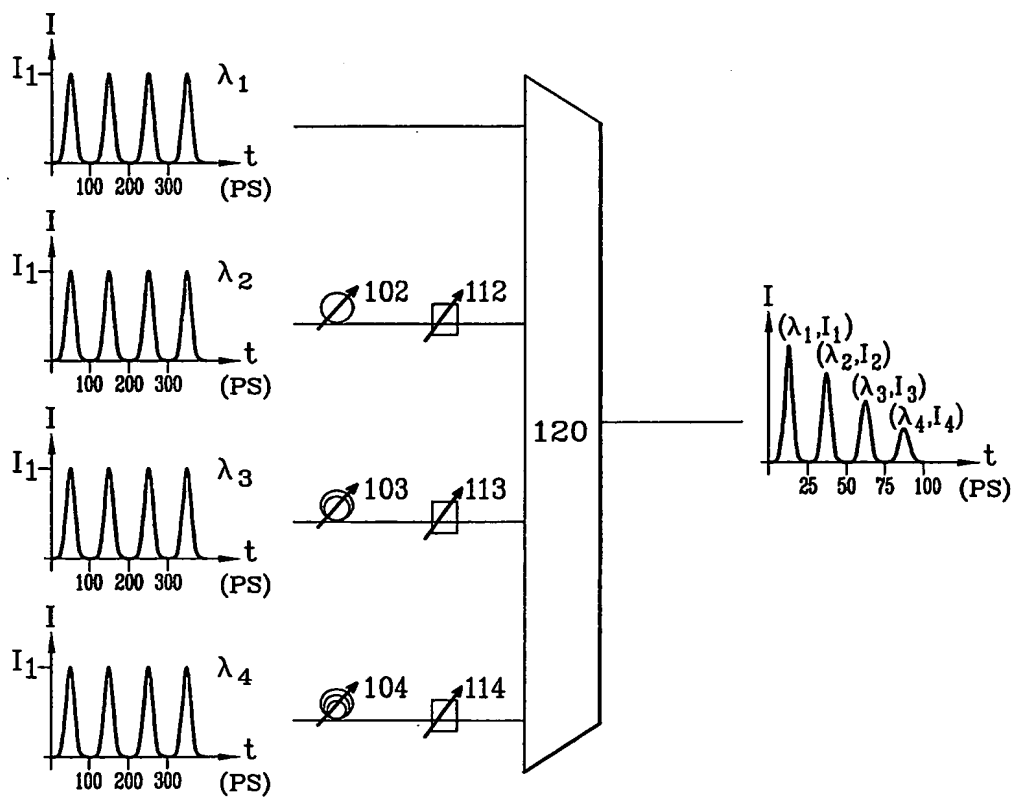
- 5            7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens (140) d'absorption sont constitués par un modulateur électro-absorbant (MEA).
- 10           8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les moyens (140) d'absorption sont constitués par un absorbant saturable.
- 15           9. Procédé de conversion de signaux WDM, dont les impulsions sont simultanées et portées par des longueurs d'onde ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ ) distinctes, en un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde ( $\lambda_4$ ) et décalées
- 20           temporellement, au moyen du dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes consistant à :
- décaler temporellement les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM,
  - 25           - atténuer les signaux WDM, afin qu'ils présentent des puissances optiques différentes,
  - multiplexer spectralement et temporellement les signaux WDM,
  - 30           - injecter le multiplex WDM obtenu dans le milieu de propagation biréfringent de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique et obtenir un signal OTDM,

- égaliser la puissance optique des composantes du signal OTDM obtenu.

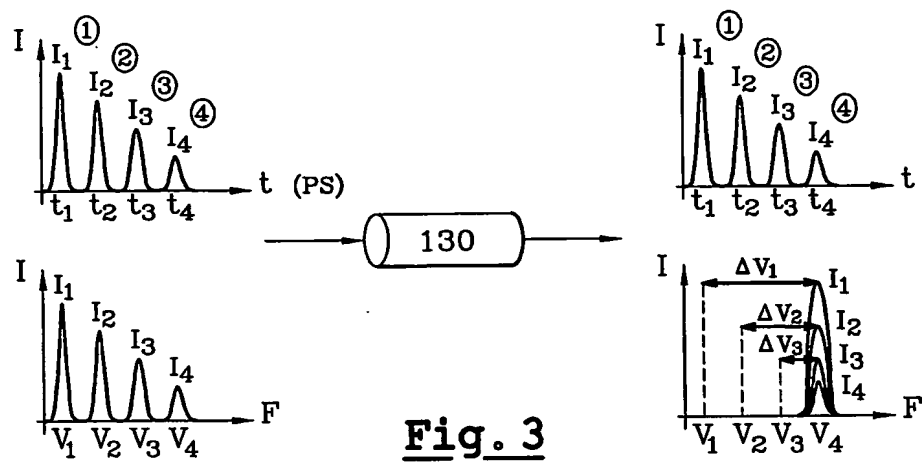
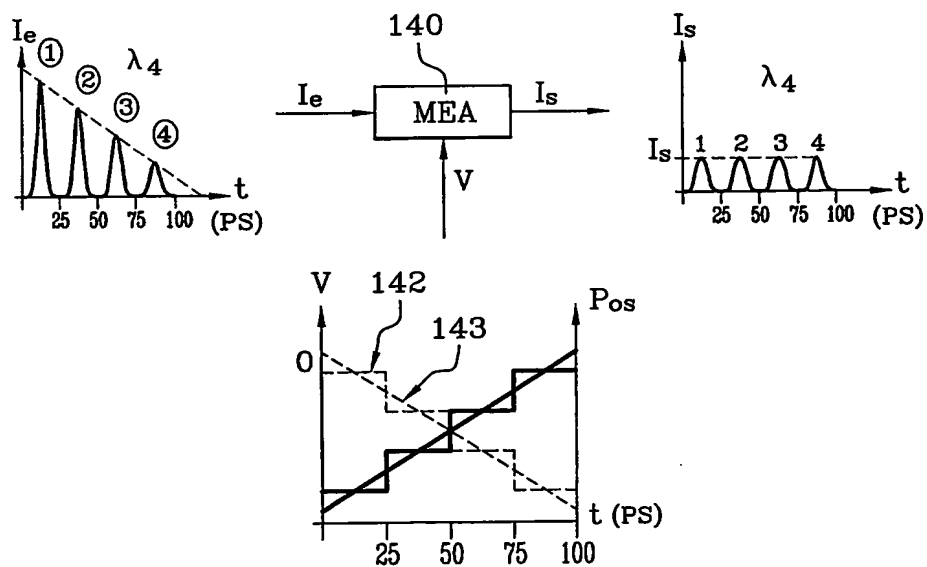
- 5           10. Procédé de conversion d'un signal OTDM, dont les  
composantes sont portées par une même longueur  
d'onde ( $\lambda_4$ ) et décalées temporellement ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  
 $t_3$ ,  $t_4$ ), en signaux WDM, dont les impulsions sont  
portées par des longueurs d'onde ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ )  
10 distinctes, au moyen du dispositif selon l'une des  
revendications 2 à 8, caractérisé en ce qu'il  
comporte les étapes consistant à :
- atténuer les composantes du signal OTDM de  
manière à ce qu'elles présentent des  
puissances optiques différentes,
  - 15 - injecter le signal OTDM dans le milieu de  
propagation biréfringent, de manière à assurer  
un phénomène de piégeage solitonique et  
récupérer un multiplex WDM,
  - démultiplexer spectralement et temporellement  
20 le multiplex WDM de manière à obtenir  
plusieurs signaux WDM, dont les impulsions,  
portées par des longueurs d'ondes distinctes,  
sont décalées temporellement,
  - égaliser la puissance optique des impulsions  
25 des signaux WDM obtenus.

- 30           11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en  
ce qu'il consiste en outre à décaler  
temporellement les impulsions supportées par les  
porteuses optiques des signaux WDM obtenus, de  
manière à les rendre simultanées.

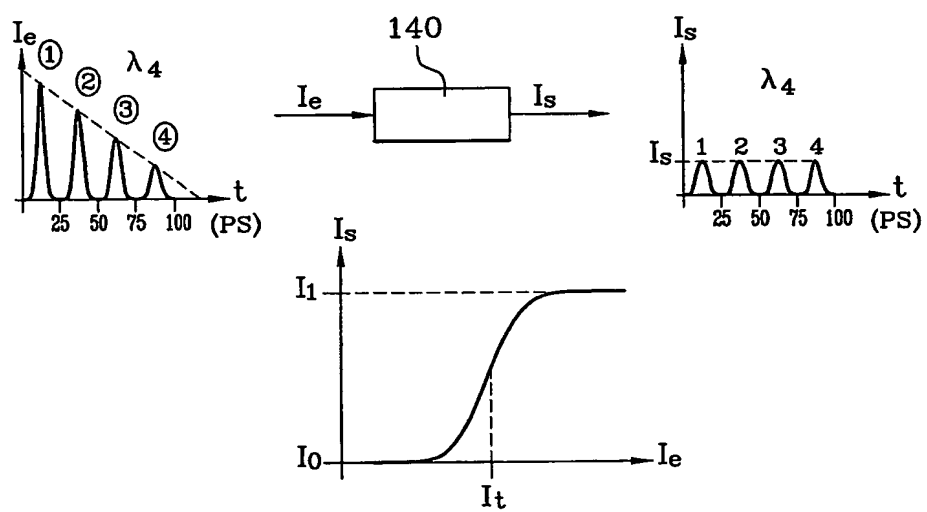
1/4

**Fig. 1****Fig. 2**

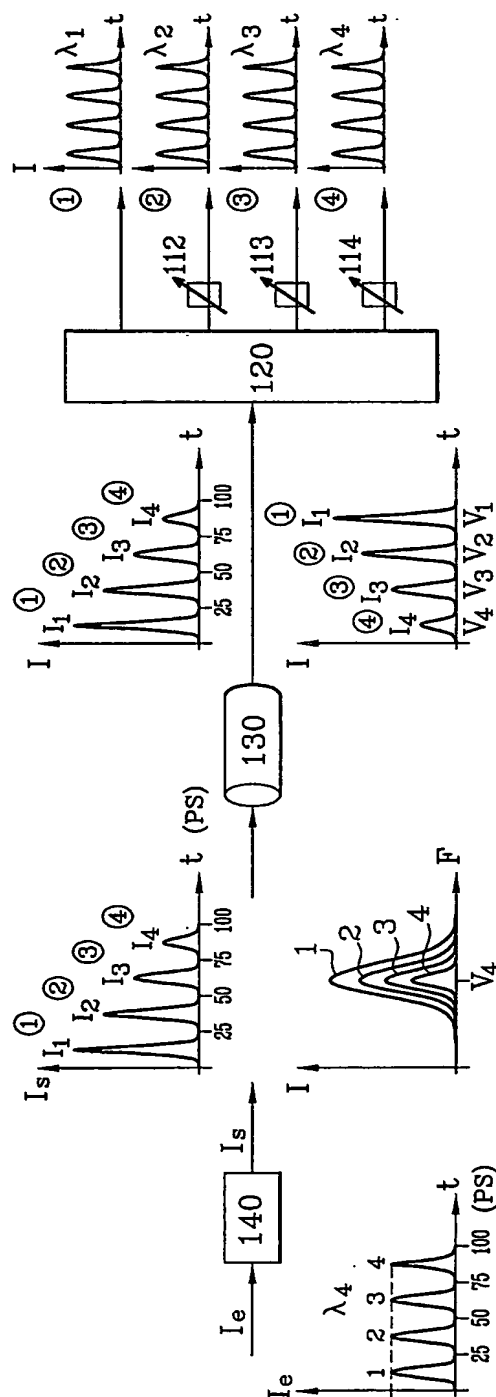
2/4

**Fig. 3****Fig. 4**

3/4

**Fig. 5**





**Fig. 6**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/00810

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H04J14/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>HATAMI-HANZA H ET AL: "DEMONSTRATION OF ALL-OPTICAL DEMULTIPLEXING OF A MULTILEVEL SOLITON SIGNAL EMPLOYING SOLITON DECOMPOSITION AND SELF-FREQUENCY SHIFT" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 9, no. 6, 1 June 1997 (1997-06-01), pages 833-835, XP000198536 ISSN: 1041-1135 page 833, left-hand column, paragraph 1 -right-hand column, paragraph 1; figure 1</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	1-11

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 August 2003

Date of mailing of the international search report

26/08/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Roldán Andrade, J

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/00810

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 307 658 B1 (DE BOUARD DOMINIQUE ET AL) 23 October 2001 (2001-10-23) column 1, line 45 -column 2, line 27 column 3, line 26 -column 4, line 43; figure 2 column 6, line 27 -column 8, line 48; figures 6-11	1-11
A	EP 1 137 213 A (DDI CORP ;KDD SUBMARINE CABLE SYSTEMS IN (JP)) 26 September 2001 (2001-09-26) column 1, paragraph 1 - paragraph 2 column 6, paragraph 30 -column 11, paragraph 51; figures 1,3,4	1-11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 03/00810

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 6307658	B1	23-10-2001	FR	2762732 A1	30-10-1998
			CA	2233270 A1	28-10-1998
			EP	0876020 A1	04-11-1998
			JP	10336135 A	18-12-1998
EP 1137213	A	26-09-2001	JP	2001274772 A	05-10-2001
			EP	1137213 A2	26-09-2001
			US	2002126346 A1	12-09-2002

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 03/00810

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 H04J14/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 H04J

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)  
EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	HATAMI-HANZA H ET AL: "DEMONSTRATION OF ALL-OPTICAL DEMULTIPLEXING OF A MULTILEVEL SOLITON SIGNAL EMPLOYING SOLITON DECOMPOSITION AND SELF-FREQUENCY SHIFT" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 9, no. 6, 1 juin 1997 (1997-06-01), pages 833-835, XP000198536 ISSN: 1041-1135 page 833, colonne de gauche, alinéa 1 -colonne de droite, alinéa 1; figure 1 --- -/-	1-11

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

18 août 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

26/08/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Roldán Andrade, J

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/FR 03/00810

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 6 307 658 B1 (DE BOUARD DOMINIQUE ET AL) 23 octobre 2001 (2001-10-23) colonne 1, ligne 45 -colonne 2, ligne 27 colonne 3, ligne 26 -colonne 4, ligne 43; figure 2 colonne 6, ligne 27 -colonne 8, ligne 48; figures 6-11	1-11
A	EP 1 137 213 A (DDI CORP ;KDD SUBMARINE CABLE SYSTEMS IN (JP)) 26 septembre 2001 (2001-09-26) colonne 1, alinéa 1 - alinéa 2 colonne 6, alinéa 30 -colonne 11, alinéa 51; figures 1,3,4	1-11

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 03/00810

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6307658	B1	23-10-2001	FR 2762732 A1	30-10-1998
			CA 2233270 A1	28-10-1998
			EP 0876020 A1	04-11-1998
			JP 10336135 A	18-12-1998
EP 1137213	A	26-09-2001	JP 2001274772 A	05-10-2001
			EP 1137213 A2	26-09-2001
			US 2002126346 A1	12-09-2002

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**